

# Série

## Rochas e Minerais Industriais

### As Opalas de Pedro II no Piauí e o Arranjo Produtivo Local

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Marcelo Gonçalves Nunes de Oliveira Morais

Leonardo Cattabriga Freire

Carlos Alberto Melo Santos

# **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

**As Opalas de Pedro II no Piauí e o Arranjo  
Produtivo Local**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Michel Miguel Elias Temer Lulia**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

**Gilberto Kassab**

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

**Elton Santa Fé Zacarias**

Secretário Executivo

**Gustavo Zarif Frayha**

Diretor de Gestão das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

**Isabela Sbampato Batista Reis de Paula**

Coordenadora-Geral das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Fernando Antonio Freitas Lins**

Diretor

**Durval Costa Reis**

Coordenador de Administração - COADM

**Robson de Araújo D'Ávila**

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

**Claudio Luiz Schneider**

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Coordenador do Núcleo Regional do Espírito Santo - CONES

**José Antônio Pires de Mello**

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

# **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

ISSN 1518-9155

ISBN – 978-85-8261-076-3

**SRMI - 23**

## **As Opalas de Pedro II no Piauí e o Arranjo Produtivo Local**

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

D.Sc. em Engenharia Mineral pela EPUSP/USP

Pesquisador Titular do CETEM/MCTIC

**Marcelo Gonçalves Nunes de Oliveira Morais**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Piauí

Consultor de Meio Ambiente

**Leonardo Cattabriga Freire**

Engenheiro de Petróleo e Gás pela UNES

Técnico em Tratamento de Minério do CETEM/MCTIC

**Carlos Alberto Melo Santos**

Técnico em Química do CETEM/MCTIC

**CETEM/MCTIC**

2018

# **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

**Silvia Cristina Alves França**

Editora

**Luiz Carlos Bertolino**

Subeditor

## **CONSELHO EDITORIAL**

Adão Benvindo da Luz (CETEM), Francisco Wilson Hollanda Vidal (CETEM), Jurgen Schnellrath (CETEM), Arthur Pinto Chaves (USP), Luis Lopes (Universidade de Evora), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Marsis Cabral Junior (IPT), José Yvan P. Leite (IFRN) e Renato Ciminelli (Consultor).

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos na área minerometalúrgica, com ênfase na aplicação de minerais industriais e de rochas ornamentais. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes de projetos desenvolvidos no CETEM e em parceria com outras instituições de PD&I.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

**Valéria Cristina de Souza**

Coordenação Editorial

**Leonardo Cattabriga Freire**

Revisão

**Ana Maria Silva Vieira de Sá**

CRB7 3982

Catálogo na Fonte

---

Vidal, Francisco Wilson Hollanda

As opalas de Pedro II no Piauí e o arranjo produtivo local / Francisco Wilson Hollanda Vidal [et al.]. —Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2018.

53p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 23)

1. Opala. 2. Pedro II. 3. Arranjo produtivo. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Vidal, Francisco Wilson Hollanda. III. Morais, Marcelo Gonçalves Nunes de Oliveira. IV. Freire, Leonardo Cattabriga. V. Santos, Carlos Alberto Melo. VI. Série.

CDD – 549.68

---

# SUMÁRIO

RESUMO _____	7
ABSTRACT _____	8
1   INTRODUÇÃO _____	9
1.1   O Arranjo Produtivo Local de Opala _____	9
2   OBJETIVO _____	13
2.1   Objetivos Específicos _____	13
3   METODOLOGIA _____	14
3.1   Mapeamento Geológico e Cadastramento de Frentes de Lavras _____	14
3.2   Introdução de Novas Técnicas de Lavra _____	15
3.3   Caracterização Mineralógica e Gemológica das Opalas _____	17
3.4   Melhoria no Processamento de Beneficiamento e Aproveitamento do Rejeito da Mina de Boi Morto ____	17
3.5   Desenvolvimento do Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto _____	19
3.6   Desenvolvimento do Turismo Mineral (GeoTurismo) Voltado para a Cadeia Produtiva da Opala _____	20
4   ESTUDOS REALIZADOS _____	23
4.1   Geologia Regional e Ocorrências das Opalas em Pedro II _____	23
4.2   Caracterização Mineralógica e Gemológica _____	32
4.3   Lavra e Beneficiamento _____	33

<b>4.4   Recuperação Ambiental</b>	<b>40</b>
<b>4.5   Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto</b>	<b>41</b>
<b>4.6   O Potencial Geoturístico de Pedro II</b>	<b>43</b>
<b>5   CONCLUSÕES</b>	<b>46</b>
<b>6   AGRADECIMENTOS</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>50</b>

## RESUMO

O Projeto cooperativo em rede do Arranjo Produtivo da Opala, na região de Pedro II - PI, aprovado pela FINEP, com recurso do FNDCT/CT - Mineral (Fundo Setorial Mineral), tendo como executor o CETEM/MCTIC e outras Instituições parceiras através de convênio de cooperação entre essas e a Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Tecnológico do Estado do Piauí - SEDET.

O APL – Opala reuniu diversos atores do setor de gemas, como a Associação dos Joalheiros e Lapidários de Pedro II (AJOLP), a Cooperativa dos Garimpeiros de Pedro II (COOGP), e a Associação dos Produtores de Opala do Piauí (APROPI), com o objetivo de aumentar a produção e consolidar a cadeia produtiva da Opala.

Inicialmente foi realizada a formalização e regularização das áreas para pesquisa mineral e tecnológica, fortalecimento e formalização da cooperativa de garimpeiros. A partir daí, durante a execução do projeto foram desenvolvidas caracterização mineralógica e gemológica dos resíduos da Opala, oficinas de capacitação de joalheiros, diagnóstico do setor de joalherias, lapidação, *design* e desenvolvimento de joias com Opala.

O presente trabalho apresenta, resumidamente, os resultados de caracterização dos resíduos e estudos de aproveitamento para aplicação em produtos alternativos tais como: joias de baixo valor agregado e produtos da construção civil. Além disso, foram realizados trabalhos de mitigação do impacto ambiental, implantação de um plano de desenvolvimento de Geoturismo e a promoção do turismo mineral em Pedro II. Tais ações resultaram em avanços visíveis e transformadores da região, com geração de emprego e renda.

### Palavras-chave

Opala, Pedro II, Piauí, Arranjo produtivo.

## **ABSTRACT**

The Cooperative Project in network Production of Opal arrangement in the region of Pedro II - PI was approved by FINEP, by using financial resources of FNDCT/CT - Mineral (Mineral Sector Fund), with the executor CETEM / MCTIC and others partner institutions through cooperation agreement between them and the Secretariat of the Economic and Technological Development of the State of Piauí - SEDET.

The APL - Opal reunited several actors of the gems sector as the Association of Jewellers and gem cutters of Pedro II (AJOLP), the Cooperative of Prospectors of Pedro II (COOGP), and the Association of Piauí Opal Producers (APROPI) in order to increase production and consolidate the productive chain of Opal.

Initially, the formalization and regularization of the areas for mineral and technological research, strengthening and formalization of the prospectors (garimpeiros) cooperative was carried out. From then on, during the execution of this project, mineralogical and gemological characterization of the residues of Opala, workshops for the training of jewelers, diagnosis of the jewelry industry, lapidation and design, development of jewelry with Opal were developed.

The present work presents briefly the results of characterization of the residues, as well as studies for its application in alternative products such as: low value added jewelry and civil construction products. In addition, environmental impact mitigation work was carried out, a Geotourism development plan was implemented and the Pedro II mineral tourism was also implemented. These actions resulted in visible and transformative advances in the region with employment and income generation.

### **Keywords**

Opal, Pedro II, Piauí, Production network.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 | O Arranjo Produtivo Local de Opala

O Arranjo Produtivo Local - APL de Pedro II e Buriti dos Montes fez parte do Projeto aprovado pela FINEP, com recurso do FNDCT/CTIC - Mineral (Fundo Setorial Mineral), e teve como objetivo viabilizar o programa setorial integrado, contribuindo para o desenvolvimento regional, tendo como executor o CETEM/MCTIC com parcerias de outras Instituições através de convênio de cooperação entre essas e a Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Tecnológico do Estado do Piauí - SEDET.

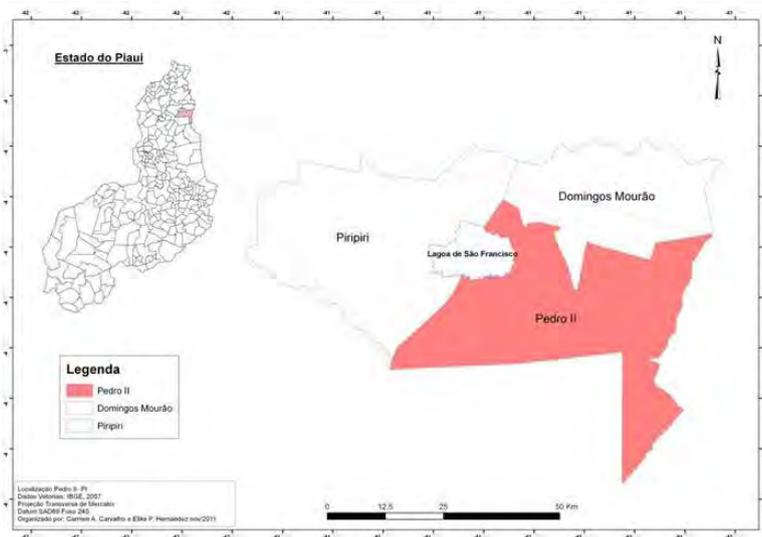
A opala constitui o depósito gemológico mais importante dentro da Bacia do Parnaíba, sendo o Município de Pedro II, por muito tempo, o único produtor de opala preciosa do Brasil.

A descoberta da opala em Pedro II está registrada apenas na história oral dos garimpeiros e, dessa forma, vai se transformando e ganhando novos contornos ao longo do tempo. A primeira pedra foi encontrada entre o final da década de 1930 e o início de 1940 e é associada a casos fortuitos. A identificação das pedras, como opala, foi feita graças à intervenção de um chefe político da época. Um agricultor teria levado algumas amostras para ele, que numa ida a Teresina, mostrou-as a engenheiros e técnicos que as identificaram.

Em meados da década de 1960, a Empresa de Minérios Brasil Norte LTDA. (EMIBRA) passou a explorar a área do Boi Morto. Os relatórios de pesquisa indicavam reservas inferidas de aproximadamente 30.000 kg de opala, em uma área de 355 ha.

A comercialização nesse período era informal e não existem dados confiáveis. A época de maior produção foi quando a EMIBRA operou a mina de Boi Morto e chegou a contar, entre os anos de 1960 e de 1976, com mais de 80 funcionários.

O depósito de Opala estudado está situado no nordeste do Estado do Piauí, no Município de Pedro II, a nordeste de Teresina, distante aproximadamente 200 km desta Capital (Figura 1).



Fonte: Carmen Carvalho, 2012.

**Figura 1.** Mapa de localização geográfica de Pedro II.

Em 2005, as atividades de extração de opalas estavam paradas na região, havia somente a extração feita pelos garimpeiros, que tinham todos os tipos de problemas de organização, formalização e ambientais.

Sob forte pressão das autoridades ambientais, era preciso encontrar uma saída para o impasse, que permitisse a exploração sem degradar o meio ambiente. Os garimpeiros precisavam conseguir as Permissões de Lavra Garimpeira (PLG) e projetos de exploração sustentável capazes de dar conta da produção de maneira responsável e sustentável.

Para solucionar a problemática trazida pelos garimpeiros e pequenos revendedores das gemas foi implantado o arranjo produtivo local, APL-Opala, que reuniu e organizou os diversos atores do setor: a Associação dos Joalheiros e Lapidários de Pedro II (AJOLP), a Cooperativa dos Garimpeiros de Pedro II (COOGP), e a Associação dos Produtores de Opala do Piauí (APROPI).

O Município de Pedro II teve melhorias significativas na cadeia produtiva de opala e joalheria com a organização e o fortalecimento da cadeia produtiva local, através do Projeto implantado, que posteriormente incorporou a região do Município Buriti dos Montes, a produção de opala praticamente dobrou, e com a formação de 14 novos lapidários, a produção de joias na região aumentou 200%. O número de estabelecimentos que comercializam joias também dobrou, tornando Pedro II um atrativo turístico forte no estado, devido principalmente a Opala.

Os resultados apareceram também no bolso de quem participa do Arranjo Produtivo. O preço de comercialização da pedra bruta podia variar entre R\$10,00 e R\$200,00 o grama, dependendo da qualidade, agora, com o beneficiamento da lapidação e da ourivesaria, podem ser vendidas a R\$30,00 o quilate.

O Arranjo Produtivo Local (APL) da Opala, na região de Pedro II, foi desenvolvido com a visão sistêmica e estruturante da cadeia produtiva de gemas e joias de opala, em processos de aprendizagem coletiva e formas associativas de atuação que possibilitem a prorrogação de pesquisa científica e tecnológica, transferência e inserção de desenvolvimento tecnológico e inovação em micro, pequenas e médias empresas, do setor de gemas e joias de opala, com a finalidade de contribuir para o desenvolvimento dos negócios dos pequenos produtores minerais, empreendedores em geral e comunidades envolvidas, possibilitando a agregação de valor, a promoção de emprego e renda, o aumento de competitividade, a melhoria nas condições de trabalho e a preservação do meio ambiente.

O CETEM, através dos seus laboratórios, usinas piloto, e com apoio de sua biblioteca, teve um papel fundamental neste projeto, já que tem a grande experiência de desenvolver projetos P&D, para todos os segmentos do setor minero metalúrgico, incluindo as tecnologias e destinadas à prevenção e correção dos impactos ambientais causados por essas atividades. O laboratório de gemologia desenvolve linhas de pesquisa para caracterização mineralógica e gemológica de ocorrências minerais de qualidade Gema; desenvolvendo técnicas analíticas não destrutivas para identificação de pedras preciosas, determinação da sua origem (natural ou sintética) e procedência (localidade geográfica) e detecção de tratamentos; desenvolvimento de técnicas analíticas não destrutivas de baixo custo e fácil aplicação (popularização da gemologia).

O presente trabalho reúne as principais informações e resultados alcançados a partir das metas estabelecidas para o Projeto, durante o seu período de execução.

## 2 | OBJETIVO

Ampliar a ação da cadeia produtiva, atuando sobre fatores que afetam o desenvolvimento sustentável e a competitividade dos pequenos produtores de Pedro II - PI, viabilizando assim os processos de aprendizagem coletiva e formas associativas que possibilitem a transferência e inserção de desenvolvimento tecnológico e inovação em micro e pequenas empresas (MPEs) do setor de gemas e joias de opala no âmbito da região do projeto.

### 2.1 | Objetivos Específicos

- Ampliação do conhecimento geológico, especificamente neste trabalho abordando a região da mina do Boi Morto. Realização de uma ampla caracterização mineralógica e gemológica das pedras preciosas de opala, bem como a caracterização dos resíduos gerados durante a exploração desta Mina que será publicado no capítulo do livro GEMAS EM PROVÍNCIAS MINERAIS NORDESTINAS e a geração de uma nova Série Monográfica, específica de gemas, editada pelo CETEM.
- Ampliação do conhecimento de aproveitamento dos resíduos no setor, bem como da transformação desses resíduos, encarados como inutilizáveis, em produtos alternativos de valor agregado. Auxiliou a mitigação do impacto ambiental, criando o entendimento da conservação ambiental e responsabilidade social nas entidades envolvidas neste projeto.
- Viabilidade de implantação de um Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto, bem como um plano de desenvolvimento de Geoturismo e a consolidação do turismo mineral em Pedro II.

### **3 | METODOLOGIA**

#### **3.1 | Mapeamento Geológico e Cadastramento de Frentes de Lavras**

O mapeamento geológico e o cadastro das frentes de lavra foram realizados a partir de visitas técnicas ao campo, com o intuito de fazer o reconhecimento de áreas potenciais de ocorrência de opala e realizar o levantamento das frentes de lavra em atividade, em Pedro II. Durante o desenvolvimento desta atividade, houve coleta de materiais para serem analisados no laboratório de Pesquisas Gemológicas do CETEM - LAPEGE. A execução foi realizada em conjunto com a equipe do Serviço Geológico do Brasil - CPRM.

A metodologia adotou as seguintes etapas:

- Levantamento bibliográfico e cartográfico das informações geológicas disponíveis sobre o município de Pedro II: Boletins da CPRM, Base Cartográfica do IBGE - Escala 1:100.000, Imagem de Satélite - Escala 1:100.000, Fotografias Aéreas;
- análise da imagem de satélite e fotointerpretação;
- etapa de campo para o reconhecimento da geologia da região;
- levantamento planialtimétrico com mapeamento geológico em três minas (Boi Morto, Bom Lugar e Roça) escolhidas, tendo como critério sua produção associada aos fatores geológicos; e
- levantamento de campo: observação e descrição do afloramento com desenhos e/ou fotografias, levantamento de dados estruturais, tais como atitudes de foliação, coleta de amostras para estudos petrográficos e gemológicos.

### 3.2 | Introdução de Novas Técnicas de Lavra

A Mina inativa do Boi Morto, nos arredores da Cidade de Pedro II (Figura 2), atualmente faz parte da área destinada à Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) da cooperativa de garimpeiros de Pedro II - COOGP. O método de lavra na Mina do Boi Morto é rudimentar (Figura 3) e de baixa produtividade, gerando um grande volume de resíduo, com potencial para recuperação da opala preciosa.

A extração de opala, atualmente, é lavra manual a céu aberto, de uma antiga companhia de mineração, que explotava essa jazida, geralmente com rejeito de dimensões abaixo de um centímetro.

Cerca de 35 homens se dedicam a esta ocupação em tempo parcial, uma vez que a maioria dos garimpeiros ocupa-se também da lavoura, sobretudo no início da época chuvosa.



Fonte: Roberto Micelli, 2013.

**Figura 2.** Visão de parte do depósito de resíduos da Mina do Boi Morto.



Fonte: Leonardo Cattabriga Freire, 2013.

**Figura 3.** Modo de operação para a recuperação de opalas preciosas pelos Garimpeiros de Pedro II. Trata-se de um método rudimentar baseado na catação manual.

Em todas as frentes de lavra visitadas, observou-se como fator preponderante para lucratividade da atividade de extração de opala, não só a espessura do aluvião, como também a quantidade de água que deve ser bombeada. Em estudos realizados pelo CETEM, identificou-se um percentual de opalas contidas nos rejeitos existentes na Mina do Boi Morto, apresentando uma viabilidade econômica para extração manual, com a remoção do resíduo.

Para a melhoria da lavra foi realizado um levantamento das condições de geologia, topografia, lavra e ambientais no local, visando soluções de manejo e tipo de remoção dos resíduos dispostos, que alcançavam a altura de aproximadamente 30 metros, servindo também como forma de prevenção de acidentes comuns aos trabalhos manuais.

### **3.3 | Caracterização Mineralógica e Gemológica das Opalas**

Para o desenvolvimento da caracterização mineralógica e gemológica das opalas foi realizada uma vasta pesquisa e estudo bibliográfico, onde mais de 550 artigos foram estudados, incluindo teses e monografias, o que serviu para coletar o maior número possível de informações a respeito das diversas ocorrências e tipos de opala no mundo, com ênfase nas opalas de Pedro II, e conhecer, em detalhe, as técnicas de caracterização empregadas no estudo de opalas.

A coleta de amostras foi feita durante uma visita no início do projeto à cidade de Pedro II - PI e seus principais garimpos. Foram cedidas pelo empresário Juscelino Souza mais de 300 amostras de opala para a caracterização.

De posse das amostras foi dado início à caracterização mineralógica e gemológica no Laboratório Gemológico do CETEM - LAPEGE e demais instalações.

### **3.4 | Melhoria no Processo de Beneficiamento e Aproveitamento do Rejeito da Mina de Boi Morto**

Foram estudados os resíduos de lavra acumulados de forma desordenada, na Mina do Boi Morto, por cerca de 40 anos, com o objetivo de aproveitamento e recuperação das opalas ainda existentes e dos subprodutos da mineração (brita e areia).

Para tanto foi realizada a caracterização tecnológica do minério, resíduos e estéreis para definição de técnicas de lavra, disposição de aproveitamento de resíduos e sua caracterização, agregação de valor das opalas (gemas) com ênfase na joalheria e *design*. Foi desenvolvido também um

equipamento de mineração: máquina lavadora e classificadora de minérios – tipo lavador de tambor (*Trommel*) para o aproveitamento dos resíduos. O referido equipamento foi colocado em operação inicial por técnicos do CETEM, e deixado para que os garimpeiros pudessem utilizá-lo, em substituição à metodologia de catação.

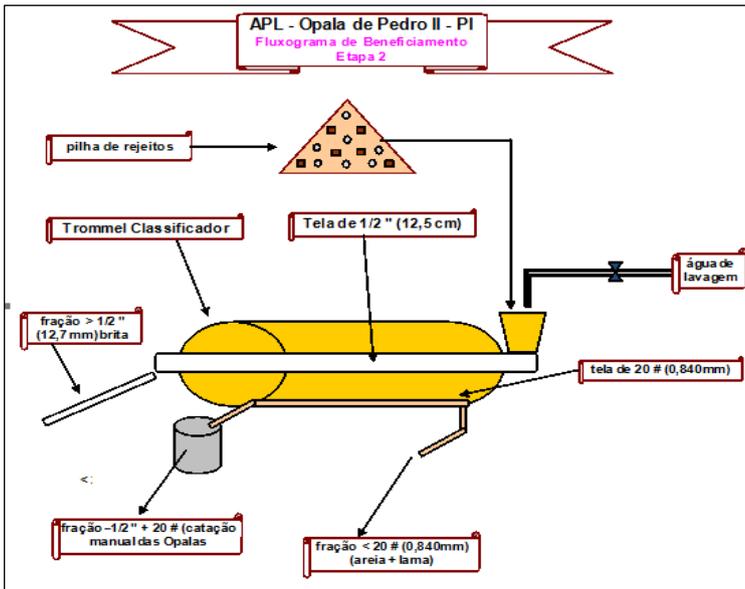
O *Trommel* adaptado nesta pesquisa é um equipamento portátil, que pode ser deslocado facilmente, pois dispõe de pequenas rodas. Esse equipamento executa dois principais passos de concentração: separação granulométrica por peneiramento e classificação por densidade (Figura 4).



Fonte: Carlos Santos, 2013.

**Figura 4.** *Trommel* adaptado para separação e classificação das frações granulométricas.

O fluxograma (Figura 5) apresenta as etapas desenvolvidas utilizadas nesta pesquisa.



Fonte: Carlos Santos, 2014.

**Figura 5.** Fluxograma de operação.

Os testes foram realizados na Oficina da Obra Kolping, visando ao aproveitamento do material < 20# (areia + lama) na fabricação dos Tijolos Ecológicos.

### 3.5 | Desenvolvimento do Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto

A elaboração de um Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto, em Pedro II Piauí, é uma realização do APL da Opala de Pedro II e Buriti dos Montes. O objetivo foi mapear e levantar a situação da área, estabelecendo ações necessárias de resgate da Micro Bacia do Rio dos Matos, servindo também como referência para Bacia do Rio Corrente.

Pedro II, município do norte do Piauí, é conhecido internacionalmente por seu artesanato, suas redes e a opala, que tem as cores do arco-íris. Além de ser bela e rara, a opala apresenta atrativo comercial, sendo explorada durante décadas nessa região do Estado e em minas na Austrália.

A iniciativa permitiu conhecer detalhadamente essa realidade, para auxiliar nas medidas de conservação, além de difundir oportunidades de turismo mineral da região, bem como verificar os efeitos da ação antrópica no ecossistema.

O Projeto da Carta Ambiental buscou, ainda, estimular o desenvolvimento de projetos de cunho social, turístico, ambiental e tecnológico que apontem melhorias para qualidade de vida da população.

### **3.6 | Desenvolvimento do Turismo Mineral (GeoTurismo) voltado para a Cadeia Produtiva da Opala**

O município de Pedro II possui uma vocação natural para o turismo, pois é conhecida como a Suíça Piauiense, devido ao clima ameno e suas paisagens únicas. O geoturismo em Pedro II visa ressaltar as potencialidades geomorfológicas e geológicas existentes na região.

Apesar da existência de tamanhas belezas naturais nesta região e do seu riquíssimo patrimônio cultural, nota-se um fraco aproveitamento turístico devido à precariedade da infraestrutura de transportes e de turismo. De outro lado, o isolamento da região concorre para que essa apresente um dos mais baixos níveis de desenvolvimento do País.

O intuito é aumentar o potencial dos pontos turísticos naturais já estabelecidos, acrescentando as informações de caráter científico, apresentada de forma didática e acessível para que haja uma contribuição no aspecto cultural, ambiental, econômico e social, tanto para o visitante, quanto para a comunidade local. Visa também a capacitação profissional em várias áreas de suporte ao turismo, criação de mapas, *folders* e painéis informativos, alertando sobre a necessidade de conservação e do ensino de geociências, com ênfase nas potencialidades e características locais.

A metodologia para o desenvolvimento do trabalho consistiu na elaboração de um banco de dados georreferenciados dos recursos turísticos, com inúmeras visitas de campo, além de farta revisão bibliográfica e documental.

As ferramentas de geoprocessamento, como fotogrametria e sensoriamento remoto, dentro da complexidade de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), são fundamentais para obtenção de um inventário turístico especializado.

O primeiro levantamento constou de visita de locais com potenciais turísticos do município, com o auxílio de guias condutores de turismo. De posse destes roteiros, a equipe foi a campo para os trabalhos de aferição dos pontos turísticos, com a utilização de um receptor GPS e câmera fotográfica para documentação.

O georreferenciamento foi realizado através do cruzamento dos pontos, utilizando, como apoio, bases cartográficas e *shapes* do IBGE, e utilização do *software* ArcGis para confecção dos mapas.

Foram realizados mapeamentos das principais minas de opala que possuem potencialidade e viabilidade turística, bem como todas as joalherias, oficinas de lapidação e ourivesarias da cidade. Após este levantamento, foi criado um banco de dados com as coordenadas geográficas para a confecção dos mapas, com intuito de demonstrar a especialização da cadeia produtiva da opala no município. Foram georreferenciados também todos os equipamentos que dão suporte ao turismo, vinculados à hospedagem, alimentação e entretenimento, e dos potenciais patrimônios geológicos, baseados na metodologia de inventariado preestabelecida.

## 4 | ESTUDOS REALIZADOS

### 4.1 | Geologia Regional e Ocorrências das Opalas em Pedro II.

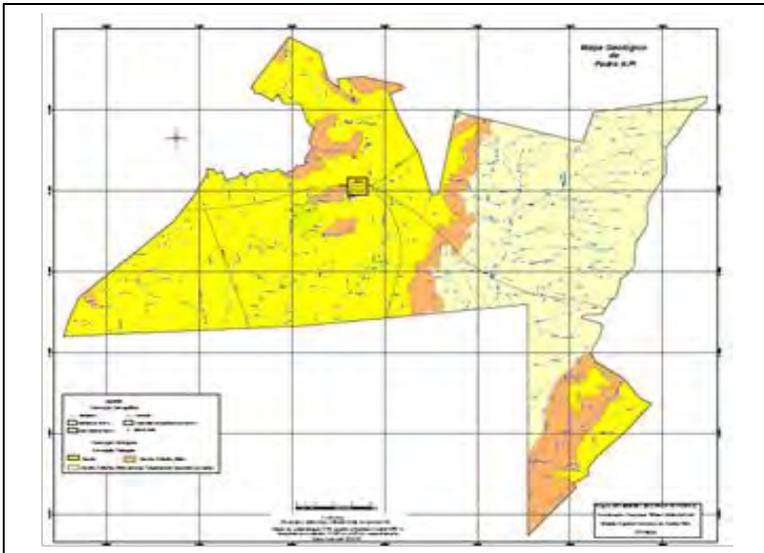
A região de Pedro II está geologicamente situada na Bacia Sedimentar do Parnaíba que ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup>. As unidades estratigráficas desta bacia estão representadas por rochas cujas idades estão relacionadas desde o Siluriano até o Devoniano Superior, englobando os Grupos Serra Grande e Canindé, além de intrusões básicas cretáceas e coberturas lateríticas e aluvionares do Quaternário (SOUZA, 1985).

O Grupo Serra Grande, predominantemente Siluriano, é composto predominantemente por arenitos finos, ocasionalmente intercalando-se leitões de arenitos conglomeráticos. Foi depositado sob condições flúvio-deltáicas a marinho rasa, que tem seu término marcado por uma discordância regional (GÓES et al., 1990).

O Grupo Canindé teve seus sedimentos depositados a partir da implantação de uma grande depressão no Siluriano, resultante da evolução termomecânica desta bacia, no Devoniano, representados pelas formações Pimenteiras (siltitos e argilitos – ambiente marinho raso), Cabeças (arenitos quartzíticos de granulação média a grossa, as vezes líticos e feldspáticos com intercalações de siltitos, folhelhos e conglomerados – ambiente periglacial-flúvio-deltáico) e Longá (folhelhos homogêneos bem laminados com finas intercalações de arenitos – ambiente marinho raso), tendo seu encerramento marcado por uma discordância regional.

As rochas básicas (diabásio) localizam-se preferencialmente nos contatos entre arenitos e siltitos e estão associadas aos efeitos de separação das placas Sul Americana e Africana, quando se desenvolveu um significativo processo magmático hipoabissal e extrusivo (Formação Mosquito) nos períodos Juro-Triássico e Eo-Cretáceo. As rochas foram datadas pelo método Rb/Sr, na borda leste da bacia, por Caldasso & Hama in Souza (1985), obtendo idades entre 110 e 130 ma.

A opala de Pedro II é encontrada nos diabásios, arenitos, siltitos, folhelhos e albitos, ocorrendo na forma de veios e vênulas, e está associada a minerais como a calcedônia, quartzo, pirita e esmectita, de forma que a presença destes minerais, principalmente em zonas de fratura, pode servir de guia na prospecção da opala preciosa (Figura 6).



Fonte: Agnaldo F. Filho.

**Figura 6.** Mapa geológico da região de Pedro II.

#### 4.1.1 | Geologia dos Depósitos de Opala de Pedro II

Estudos realizados por Oliveira et al. (1979) sobre as opalas de Pedro II, sugerem que essas se formaram com a rocha diabásica funcionando como um *trapp* impermeável e as águas subterrâneas dissolvendo a sílica do próprio diabásio, depositando-a sempre ao longo das fraturas durante possíveis flutuações climáticas. Possivelmente associado a este processo, houve a formação do nível de argila de alteração diretamente sobreposto às rochas básicas, o qual teria se originado pelo carreamento de Ca, Mg, K e outros elementos acarretando uma consequente elevação dos teores de sílica.

Duas hipóteses são consideradas por Rosa (1988) sobre a fonte de sílica para a formação das opalas na região de Pedro II: circulação das águas quentes ligadas à colocação dos diabásios, com subsequente dissolução das rochas quartzosas e deposição da sílica, e circulação das águas superficiais ligadas à alteração meteórica das rochas sedimentares.

Um novo modelo foi proposto por Samana et al. (1986) in Rosa (1988) para a formação da opala em Pedro II, no qual a circulação das águas pluviais através da sequência estratigráfica foi o principal fator para constituir as soluções mineralizantes. Neste modelo, a sílica da opala proveniente de alteração meteórica, precipitaria sob forma de glóbulos esféricos bem calibrados para formar o empilhamento das esferas, característico das opalas preciosas. Esta precipitação seria controlada pelo quimismo do meio da alteração dos diabásios e seria favorecida pelas fraturas das rochas psamopelíticas devonianas durante a colocação do *sill*.

Já Bartoli et al. (1983) propuseram que a origem das opalas de Pedro II seja diretamente associada à circulação de águas

quentes ligadas ao *emplacement* do *sill* de diabásio ou que esteja associada a uma migração da sílica a partir das superfícies lateríticas antigas. Em seguida, esta sílica teria ficado presa nas fraturas que se desenvolveram durante a intrusão do diabásio.

Gomes (1990) e Gomes & Costa (1994) propuseram a teoria do hidrotermalismo, que sugere que a opala está associada a um ambiente hidrotermal relacionado ao *emplacement* dos diabásios nas rochas siliciclásticas da Formação Cabeças (na região de Pedro II) e Grupo Serra Grande. Estas rochas, sob ação termal, teriam tido seus silicatos desestabilizados, liberando a sílica que percolou como solução entre fraturas, formando a opala. Segundo Gomes (1990), a ocorrência de opala associada ao diabásio é uma forte evidência de hidrotermalismo.

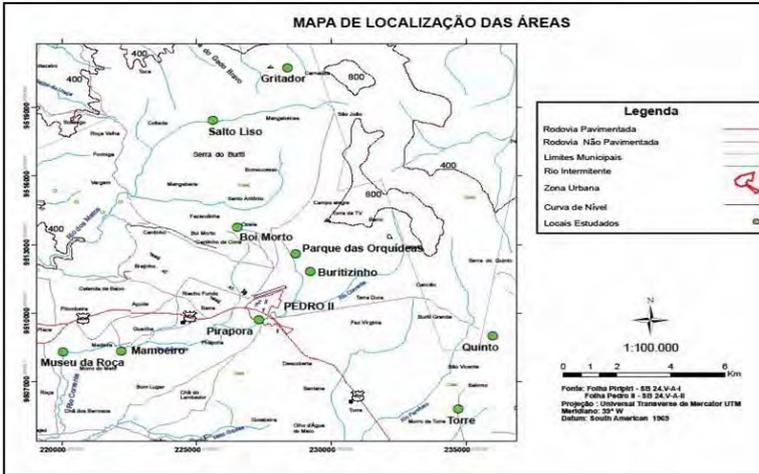
Gomes (1994) sugere que a origem das opalas de Pedro II seja hidrotermal, onde o *emplacement* do diabásio em rochas clásticas, desde arenitos até folhelhos, foi o agente térmico responsável, enquanto os sedimentos, bem como o próprio diabásio, foram as rochas hidrotermalizadas e receptoras da mineralização. O autor supracitado diz que a presença de arenitos com metamorfismo termal (hornfels), as texturas venular e brechóide, a alteração do diabásio em massas de smectita ou tremolita-actinolita, clorita, serpentina, albita, carbonato, epidoto, sericita, argilominerais, titanita e minerais opacos, típicos de ambiente hidrotermal evidenciam uma origem hidrotermal das opalas. No entanto, estas evidências apenas mostram que houve hidrotermalismo na região, e tal processo pode não ser o principal responsável pela formação da opala de Pedro II, como descreve Rosa (1988) e Samana et al (1986) in Rosa (1988).

As estruturas siliciclásticas de determinados minerais provavelmente foram desestabilizadas pela ação térmica e por fatores físico químicos do meio, liberando assim a sílica para formar as opalas. Temperatura, pressão, pH da solução, presença de sais e de cátions metálicos ( $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) controlaram o processo. A solubilidade da sílica aumenta com a alcalinidade e com a temperatura, e a presença de  $\text{NaCl}$  e  $\text{Al}^{3+}$  e mesmo  $\text{Mg}^{2+}$  na solução reduzem a solubilidade da mesma. Segundo Gomes (1994), inicialmente o ambiente hidrotermal de Pedro II, sob temperatura mais elevada, decompôs os minerais silicatados primários, transferiu sílica para o sistema, que com a saturação em sílica e presença de sais de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  propiciaram a sua insolubilização.

O domínio das ocorrências de opalas no Piauí associadas aos diabásios reforça apenas que para a formação da opala é necessária uma camada impermeável para que a mineralização ocorra sobre esta. Sendo assim, o diabásio atuou como um *trap* impermeável, as águas subterrâneas e meteóricas promoveram a dissolução da sílica dos arenitos e do próprio diabásio e depositou-a durante flutuações climáticas.

#### 4.1.2 | Mapeamento e Cadastramento das Lavras

Existem mapeados aproximadamente 50 ocorrências ativas e inativas. As principais áreas de mineração da Opala no município de Pedro II são Boi Morto, Roça, Mamoeiro e Bom Lugar. Outras áreas em fase de desenvolvimento são Gritador e Buritizinho. No mapa (Figura 7) também são encontrados os parques de preservação como o Salto Liso, Parque das Orquídeas, Pirapora, Quinto e Torre.



Fonte: MATOS, 2016.

**Figura 7.** Mapa de localização das áreas. Elaboração de Divamélia de Oliveira Bezerra Gomes, Tese de Mestrado.

### Mina do Boi Morto

A mina do Boi Morto que fica localizado cerca de 3 km ao Norte de Pedro II, sendo o seu acesso em uma estrada não pavimentada, porém trafegável por carros de porte grande. Na área da mina há um platô, onde se instalou com o rejeito, um perfil laterítico com cerca de 20 m de espessura.

Esse garimpo é conhecido desde 1945 quando foi requerido pela primeira vez para pesquisa mineral, contudo a mineração se tornou intensa apenas no início da década de 1970 quando o empresário carioca Nilzo Lacerda Barbosa criou a Empresa de Mineração Brasil Norte LTDA. (EMIBRA) passando a lavar a área em grande escala, quando a Mineração Cristã adquiriu o patrimônio da EMIBRA (Fundação CEPRO, 2005).

Fundação CEPRO (2005) ainda afirma que essa mina já foi considerada como uma das maiores produtoras de opala do mundo, durante a década de 1970, até que as atividades foram interrompidas. Ainda segundo os relatos de Fundação CEPRO (2005), no ano de 1995, a empresa OPEX OPALA DO BRASIL LTDA, deu início a um processo de licitação que, sete anos depois, lhe concedeu direitos de pesquisa mineral na área.

A mina é o jazimento mais importante da Região de Pedro II. Predominam na área os tipos “White Opal”, nas variações “Pinfire”, “Broad Flash” e “arlequim” (OLIVEIRA, 1998).

Os arenitos mostram-se bastante recristalizados, do aspecto maciço, por vezes apresenta fraturas, onde se encontra a opala. Os arenitos também podem conter hematita em concreções milimétricas, e feldspatos caulinizados. Encontram-se, tanto em seus aspectos texturais originais, quanto como em mosaico, mostrando textura granoblástica poligonal, fraturados e ou brechados devido ação termal (Figura 8).

No contato inferior, encontram-se siltitos muito fraturados e falhados, onde possivelmente se desenvolve a calcedônia e opala. Este geralmente encontra-se bastante alterado hidrotermalmente. O diabásio assim transformado pode localmente ter a forma de brecha, onde a opala envolve os elementos fragmentados. Os diabásios são de coloração cinza esverdeada, apresentam a mineralogia primária transformada por processo de alteração hidrotermal.



Fonte: Roberto Micelli, 2013.

**Figura 8.** Vista da entrada das galerias da antiga mina e do Arenito da Formação Cabeças onde ocorrem opalas associadas na Mina do Boi Morto.

#### 4.1.3 | Existência de Outras Minas

##### **Mina do Bom Lugar**

Localizada aproximadamente a 5 km a sudoeste da cidade de Pedro II, no garimpo Bom Lugar pode-se observar a relação entre as rochas sedimentares e a intrusão básica.

A camada de arenito com aproximadamente 2 m de espessura, contendo lente concordante centimétrica enriquecida em óxidos de ferro e manganês. Abaixo do arenito ocorre camada de siltito argiloso com cerca de 3 m de espessura; no seu interior há um nível cimentado por sílica (Figura 9).

Na base do perfil ocorre um saprolito de rocha básica. O diabásio está bastante intemperizado numa espessura de aproximadamente 8 metros.



Fonte: Compilada de CPRM, 2013.

**Figura 9.** Perfil exposto no garimpo Bom Lugar.

### **Mina da Roça**

A Mina da Roça localiza-se a 7 km a sudoeste da cidade de Pedro II, foi descoberta por volta de 1960, quando se extraía argila branca para a fabricação de ladrilhos e telhas, numa pequena cerâmica artesanal (OLIVEIRA, 1998), entretanto, a mineração primária ocorreu somente na década de 1970, através de parcerias e arrendamento entre diversas empresas (Fundação CEPRO, 2005).

Nessa área, a opala ocorre sempre como veios e vênulas associados ao diabásio, o qual está frequentemente diaclasado. Oliveira (1998) afirma o que está normalmente esmectizado, o que permite ser lavrado por métodos convencionais de garimpagem hidráulica, além disso, ele ainda

afirma que o diabásio venular também contém muita sílica não opalina, milimétrica a centimétrica ou mesmo opala em seus interiores. O colúvio que se sobrepõe aos diabásios é relativamente rico nesse tipo de opala, além de calcedônia e cristal de rocha (Figura 10).



Fonte: Roberto Micelli, 2013.

**Figura 10.** Visão da Mina da Roça.

## 4.2 | Caracterização Mineralógica e Gemológica

Quanto à caracterização mineralógica foram realizados ensaios de Petrografia, Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV, Difração de Raios X, Análise Térmica – TGA/DTA e Microdureza.

A petrografia foi realizada por microscopia ótica de luz transmitida e refletida, a fim de se observar a interação da opala com as rochas encaixantes no garimpo de Boi Morto.

Já a técnica de microscopia eletrônica de varredura foi utilizada na obtenção de imagens de grande aumento, a partir do qual pôde-se observar a estrutura das opalas.

Visando um estudo do grau de cristalinidade das opalas foram efetuadas 14 análises por difração de raios X no Laboratório de Caracterização Tecnológica do CETEM. Com a análise térmica foi possível quantificar o teor de água em algumas opalas e os testes de microdureza realizados nas opalas demonstraram que os valores obtidos estão abaixo de 6,5 de dureza.

Para a caracterização gemológica foram realizados ensaios de Microscopia Gemológica e Índice de Refração e Densidade. No ensaio de Microscopia Gemológica foi utilizado o microscópio gemológico de imersão, caracterizando o jogo de cores e a estrutura acamadada. Já para o de Índice de Refração e Densidade foram analisadas 18 opalas de Pedro II e pode-se observar que ocorre uma correlação positiva entre as duas grandezas (índice de refração e peso específico), definindo uma relação quase que linear típicas de opalas C-T, com cristobalita e tridimita.

Todos os resultados estarão disponibilizados no capítulo do livro GEMAS EM PROVÍNCIAS MINERAIS NORDESTINAS e deverá ser alvo de uma Série monográfica do CETEM.

### **4.3 | Lavra e Beneficiamento**

O desenvolvimento da melhoria da lavra e beneficiamento se deu a partir da implantação do equipamento *Trommel* que foi desenvolvido pelo CETEM, em parceria com o SEBRAE-PI, pelo Projeto Desenvolvimento de Tecnologia e Equipamento Integrado ao APL Opala da Região de Pedro II (Convênio

FADEX/SEBRAE n°09/07) e doado à cooperativa de garimpeiros locais, para o beneficiamento do rejeito com a finalidade de facilitar a separação da opala preciosa em substituição à metodologia de catação.

#### 4.3.1 | Primeira Etapa

Nesta etapa da pesquisa, foram realizados ensaios para controle das vazões e realizando um balanço de massas mais preciso das operações de concentração. A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios 7, 8 e 9, onde mostra os parâmetros obtidos no balanço de massa dos ensaios realizados.

A vazão média de alimentação nos ensaios foi de 951 Kg/h de sólidos e 7.210 L/h de polpa.

A recuperação do material > 20# (0,84 mm) foi muito pequena devido à qualidade do material processado, ou seja, rejeitos com grande quantidade de areia e lama e pouco cascalho.

**Tabela 1.** Resumo dos ensaios realizados na primeira etapa.

Ensaio	Produtos	Balanço de Massas						
		Vazão de Polpa (L/h)	Vazão de Sólidos (Kg/h)	(%) sólidos	Rec. Massa (%)	Massa Opala (g)	Rec. Opala (g/t) Fração >20#	Rec. Opala (g/t) Alimentação
7	Fração > 20#	5,9	2,332	38,87	0,22	1,32	681	42,58
	Fração - 20 + 100#	5.598,3	639,936	18,52	60,21	-	-	-
	Fração < 100#	2.538,8	420,617	-	39,57	-	-	-
	Alimentação	8.143,0	1.062,885	18,34	100,00	-	-	-
8	Fração > 20#	4,2	3,044	47,57	0,38	1,07	750	34,52
	Fração - 20 + 100#	3.319,0	572,314	16,49	71,17	-	-	-
	Fração < 100#	2.783,8	228,752	-	28,45	-	-	-
	Alimentação	6.107,0	804,110	20,05	100,00	-	-	-
9	Fração > 20#	5,0	6,398	59,24	0,65	0,70	328	22,58
	Fração - 20 + 100#	4.225,0	772,214	22,02	78,17	-	-	-
	Fração < 100#	3.150,1	209,220	-	21,18	-	-	-
	Alimentação	7.380,1	987,832	20,12	100,00	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os ensaios realizados nos permitiram concluir que a introdução de um *Trommel* na lavagem e classificação do cascalho para posterior catação manual das Opalas, é altamente eficiente, pois obtivemos uma recuperação de até 42,58 g/t de Opalas preciosas em um material (rejeito < 3#) que é descartado na lavagem feita pelos garimpeiros na Mina Boi Morto.

Observou-se que é essencial o uso de água na lavagem do material classificado no *Trommel*, devido à quantidade de lama (4 - 10%) e areia (4 - 18%) ainda presente no material > 20# (0,84 mm).

Os estudos realizados determinam a concentração de Opalas preciosas apenas nas bancadas de rejeitos estudadas, não servindo como parâmetro para avaliar as concentrações de Opalas preciosas em toda a Mina.

O produto > 20# (0,84 mm) foi classificado no Gold Saver em várias frações granulométricas, apenas para facilitar a contagem das Opalas preciosas (Figura 11).



Fonte: Carlos Santos, 2013.

**Figura 11.** Primeira etapa coletando material de ensaios piloto e opalas recuperadas dos resíduos da Mina do Boi Morto.

A determinação das Opalas preciosas na fração - 10 + 20# foi feita em laboratório, com o auxílio de uma Lupa de Pala, devido ao pequeno tamanho das pedras preciosas.

#### 4.3.2 | Segunda Etapa

Com base nos resultados obtidos foram realizadas as adaptações necessárias no projeto do equipamento sendo fabricado um novo *Trommel* com capacidade superior ao da primeira etapa (Figura 12).



Fonte: Carlos Santos, 2013.

**Figura 12.** *Trommel* adaptado em operação na Mina do Boi Morto.

Devido a dificuldades operacionais, pouca água disponível na Obra Kolping, foi necessário alugar um carro pipa para facilitar a operação de classificação e lavagem no *Trommel*.

O equipamento possui uma capacidade aproximada (segundo o fabricante) de 1500 a 6000 litros de material por hora. Durante o processamento, a alimentação da amostra do circuito entra pelo alimentador acoplado ao *Trommel*, sendo classificada em uma tela de 20# (0,84 mm). O produto passante (-20#) é retido em uma tela pré-definida de peneiramento (+ 100#), que está situada em uma comporta na parte de baixo do equipamento. Esta comporta vibra durante o processamento, separando a areia (fração - 20 + 100#) da lama (fração < 100#).

A recuperação de opalas preciosas e semipreciosas (204g/t), utilizada na fabricação de joias (Figuras 13 e 14), foi muito eficiente nessa etapa do projeto, conforme mostra a Tabela 2. As retificações feitas no equipamento apresentaram um resultado aceitável, em termos de operacionalidade e facilidade de locomoção.



Fonte: Carlos Santos, 2013.

**Figura 13.** Opalas recuperadas da mina do Boi Morto.



Fonte: Carlos Santos, 2013.

**Figura 14.** Joias confeccionadas por mosaico de resíduos de opalas.

**Tabela 2.** Tabela de balanço de massas e recuperação de opalas preciosas na etapa 2 do projeto.

Produtos	Balanço de Massa			
	T (seg.)	m (g)	Vazão de Sólidos (Kg/h)	Peso (%)
Fração > 1,2"	30	3.276,00	393,120	9,27
Fração - 1,2" + 20#	30	2.209,42	265,130	6,25
Fração < 20#	p/diferença	60.514,58	3.584,607	84,49
Total				100
Alimentação	56	66.000,00	4.242,857	

Obs: Não calculamos a vazão de polpa devido à dificuldade de medir a vazão de água bombeada de um carro pipa

#### Classificação da Fração > 20# para contagem de Opalas preciosas e semi-preciosas

Fração	Peso (g)	Peso (%)	Peso (g) Opala	Peso (%) Opala	Rec. Opala (g/t) Fração > 20#	Rec. Opala (g/t) Alimentação
- 1,2" + 3,5#	1.741,34	78,81	0,29	64,44	131	4,39
- 3,5 + 6#	259,87	11,76	0,11	24,44	50	1,57
- 6 + 10#	31,41	1,42	0,02	4,44	9	0,30
- 10 + 20#	12,81	0,58	0,03	6,67	14	0,45
< 20#	163,99	7,42	-	-	-	-
Total	2.209,42	100,00	0,45	100,00	-	-
Cálculo da Recuperação de Opalas na Fração > 20# (g/t)					204	-
Cálculo da Recuperação de Opalas Alimentação (g/t)					5,8	

Obs: Os cálculos foram feitos, tomando-se como base como fato de não existirem Opalas nas frações < 20#. (Estudos feitos no CETEM)

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 4.4 | Recuperação Ambiental

### 4.4.1 | Tijolo Ecológico

Um das atividades para melhorar o aproveitamento do resíduo da Mina de Boi Morto foi acompanhar o processo da fabricação de tijolos ecológicos, na ONG Kolping, onde há uma oficina que tem a proposta de utilizar as frações areia e argila (lama) do rejeito da Mina. como matéria prima (Figura 15).



Fonte: Leonardo Cattabriga, 2013.

**Figura 15.** (A) Protótipo de unidade de processamento de artefatos para a construção civil; (B) Tijolos confeccionados a partir dos resíduos da extração de opalas.

A Tabela 3 apresenta os ensaios de resistência a compressão uniaxial realizados com os rejeitos obtidos nos ensaios com o Trommel. Esses ensaios foram realizados na empresa “Kolping”, na cidade de Pedro II - PI.

**Tabela 3.** Resumo dos ensaios realizados com o rejeito do *Trommel* para a fabricação de tijolos ecológicos.

Ensaio	Produtos	Massa (g)	Força kN	Tensão Mpa
1	Areia < 20#	2.275	32,85	15,97
	Cimento	325		
	Água	260		
	Total	2.860		
2	Areia - 20 + 100#	2.275	27,48	11,57
	Cimento	325		
	Água	260		
	Total	2.860		
3	Areia < 20#	1.137,5	17,46	3,62
	Argila da Kolping	1.137,5		
	Cimento	325		
	Água	260		
	Total	2.860		

Obs: tijolo fabricado na Kolping = 2.700 g

Canaleta fabricada na Kolping = 1.300 g

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial obtidos com os tijolos ecológicos fabricados na “Kolping”, em Pedro II, nos permitem concluir que podemos utilizar o material descartado do *Trommel* (areia + lama) na fabricação dos tijolos.

#### 4.5 | Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto

A confecção de um Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto teve como objetivo tornar o garimpo mais coletivo e mais humano. Inicialmente, buscou-se dar suporte aos garimpeiros para conseguirem trabalhar no garimpo com mais segurança e

com o auxílio de um profissional responsável em atender as normas ambientais em vigor. Foi realizado um planejamento para as pilhas de estéril, resíduos, produtos, barragens, áreas de armazenamento e bacias de decantação, como demonstra o a Figura 16.

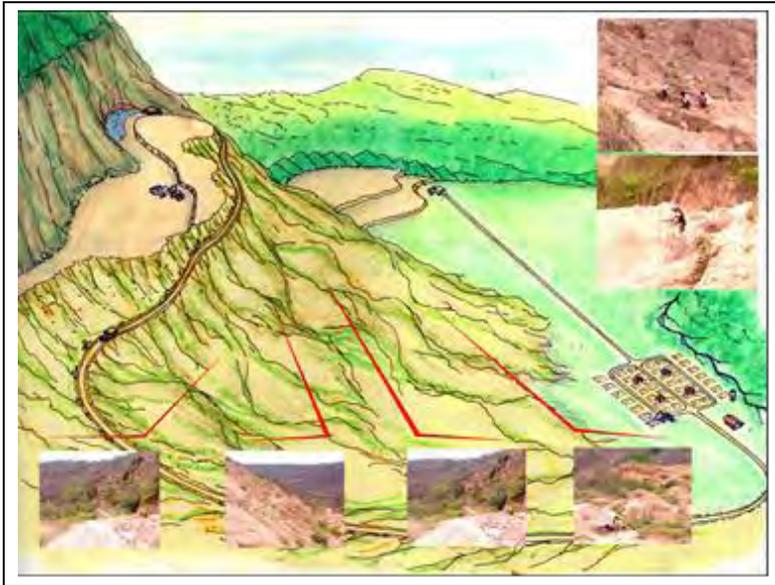


Fonte: CETEM, 2007.

**Figura 16.** Mapa geral da Mina do Boi Morto.

Nas situações de risco grave e iminente de ruptura de barragens e taludes, as áreas de risco serão isoladas e evacuadas. Esse processo será monitorado e todo pessoal potencialmente afetável será informado. O acesso aos depósitos de produtos, estéril e resíduos será sinalizado e restrito ao pessoal necessário aos trabalhos ali realizados.

Na área previamente decapeada será depositado resíduo. Após acomodação do mesmo, será feita a sua cobertura com material depositado, fruto do decapeamento, seguido de um trabalho de reflorestamento como demonstra o planejamento na Figura 17.



Fonte: CETEM, 2007.

**Figura 17.** Projeto da Carta Ambiental da Mina do Boi Morto.

#### 4.6 | O Potencial Geoturístico de Pedro II

O município de Pedro II tem uma vocação natural para o Turismo, devido à sua altitude de 603 m e clima ameno. Além disso, a cidade possui alguns atrativos naturais, como o Morro do Gritador e a Cachoeira do Salto Liso, que já funcionam como polos atrativos de ecoturismo. Entretanto, não possui

nenhum aporte técnico e científico que explique sua formação e importância para o local de sua conservação, tanto de sua paisagem, quanto na regulação climática e manutenção da fauna e flora.

O Turismo na cidade não se desenvolve apenas pelos atrativos próprios da cidade, existe também ações por parte de organizações públicas e privadas. Nesse sentido, uma das principais experiências da cidade é o Festival de Inverno que, em 2010, atraiu aproximadamente 20 mil turistas para Pedro II.

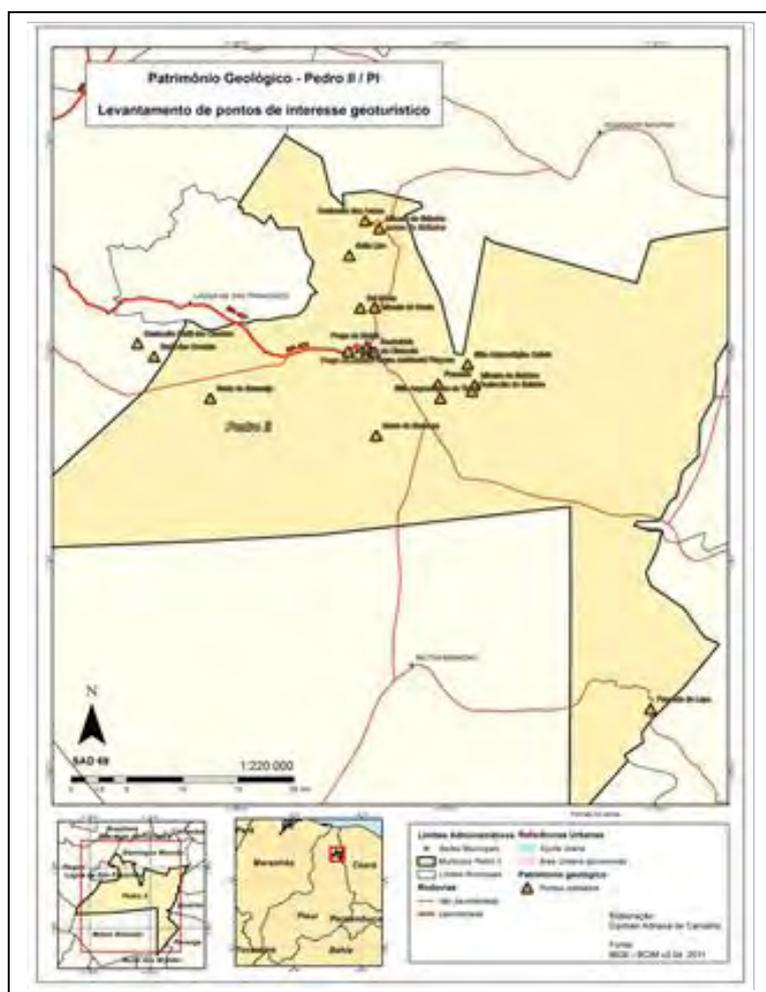
A intenção do projeto foi de consolidar o turismo mineral e o geoturismo, em conjunto com o patrimônio cultural, histórico e arqueológico existente, já explorado no município.

No levantamento realizado dos pontos com potenciais geoturísticos, foram pré-selecionados 18, estando ainda em processo de análise para confirmar se obedecem aos critérios de inventariação do patrimônio geológico.

Abaixo segue o mapa com a localização dos pontos geoturísticos pré-selecionados.

Em sequência foi realizado o levantamento e georreferenciamento dos equipamentos de suporte ao turismo, com um total de 15 pontos de alimentação, 17 pousadas e 9 equipamentos voltados ao entretenimento.

A cadeia produtiva da opala conta com 21 estabelecimentos, entre joalherias, oficina de lapidação e ourivesaria, e 1 mina e 2 garimpos de opala. Esses levantamentos serão a base dos mapas, painéis e *folders* geoturísticos de Pedro II. (Figura 18).



Fonte: Carvalho, 2012.

**Figura 18.** Mapa com os pontos Geoturísticos do Município de Pedro II.

## 5 | CONCLUSÕES

O Projeto Cooperativo em Rede do Arranjo Produtivo de Opala na Região de Pedro II-PI, teve por objetivo aumentar a produtividade e consolidar a cadeia produtiva da opala por meio de uma abordagem sistêmica e cooperativa, incluindo algumas etapas de agregação de valor, pesquisa mineral, lavra, beneficiamento, lapidação, *design*, joalheria, comercialização, promoção comercial e gestão.

Muito do objetivo foi alcançado como contribuições e resultados desenvolvidos, principalmente, no que diz respeito ao que foi abordado neste trabalho.

O mapeamento e cadastramento de frente de lavras, na região de Pedro II, teve um ganho no que diz respeito ao conhecimento geológico, embora exista ainda muito a ser realizado, como um melhor detalhamento nas áreas consideradas prioritárias.

Dentro do aspecto mineralógico e gemológico das opalas que ocorrem em Pedro II, todos os resultados estarão disponibilizados no capítulo do livro GEMAS EM PROVÍNCIAS MINERAIS NORDESTINAS e deverá ser alvo de uma Série monográfica do CETEM.

O Desenvolvimento tecnológico para aproveitamento de rejeitos e coprodutos da mineração, lapidação e joalheria foi realizado na Mina do Boi Morto, a partir de amostras beneficiadas no Trommel, que apresentaram uma boa recuperação de opalas, principalmente nas frações  $-1/2$  “+ 20#. Estas frações recuperadas serão aproveitadas na fabricação de joias com mosaico de opalas, reduzindo assim o passivo ambiental provocado pelo depósito do rejeito de Boi Morto.

Recomendamos que futuros ensaios sejam feitos já na Mina do Boi Morto, onde há uma disponibilidade maior de água (bomba d'água e poço artesiano) e um gerador disponível para operação dos equipamentos.

O benefício ambiental trazido pelo uso dos tijolos ecológicos, se dá, especialmente, pelo fato de que sua fabricação reduz o passivo ambiental provocado pelo depósito do rejeito de Boi Morto. Os artefatos de construção civil produzidos farão parte do Projeto de construção de uma vila de casas para os garimpeiros, sob a gestão da ONG Kolping.

Com a confecção da Carta ambiental da Mina do Boi Morto, pode-se mapear e levantar a situação atual da mina, podendo assim estabelecer ações necessárias para proteger as bacias hidrográficas da região, bem como tornar o garimpo mais coletivo e mais humano, dando suporte aos garimpeiros para conseguirem trabalhar no garimpo com mais segurança e, com o auxílio de um profissional responsável, conseguir atender as normas ambientais em vigor na região de Pedro II.

O mapeamento e o levantamento dos pontos de interesse geoturísticos de Pedro II demonstraram a sua potencialidade turística. A elaboração de um banco de dados georreferenciados dos equipamentos voltados ao turismo, segmentados, estabeleceram parâmetros da vocação da atividade turística no município.

Foi possível elaborar um diagnóstico do patrimônio geológico para o desenvolvimento da atividade turística, com perspectiva de intervenções, visando estabelecer roteiros geoturísticos, com base na análise dos cenários existentes.

Tendo em vista o potencial geoturístico do município de Pedro II, e sendo observada a subutilização de alguns atrativos, surge a possibilidade de implantação do projeto geoturístico, como um segmento turístico representativo.

Por se encontrar em uma região com enorme carência de projetos de desenvolvimento econômico, pois o Piauí abriga oito dos dez municípios de menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Brasil, esse tipo de ação do arranjo produtivo surge como uma possibilidade de melhora nas condições socioeconômicas do município, podendo ser aplicado em outros municípios do estado, já que há ocorrência de opalas de fogo em Buriti dos Montes.

A consolidação do arranjo produtivo da Opala, na região de Pedro II, gera a possibilidade de desenvolvimento socioeconômico, diminuindo o deslocamento da população em busca de trabalho, aumentando a renda da população local através da comercialização das gemas, joias e artesanato, além da oferta de turismo de base comunitária.

## **6 | AGRADECIMENTOS**

Àqueles que contribuíram para o desenvolvimento do Projeto, em particular ao Pesquisador do CETEM Jurgen Schanellrath que realizou toda caracterização mineralógica e gemológica da opala, ao Demostenes Antônio Moreira Pinto que foi o responsável pela legalização das áreas junto ao DNPM e secretaria estadual de meio ambiente e ao Raimundo Nonato de Andrade Feitosa que foi um dos responsáveis técnicos do projeto atuando como Engenheiro de Minas. Aos colaboradores Érica Escalzer da Silva, Carmen Adriana que contribuíram com suas dissertações de Mestrado, a Joedy Patrícia Cruz Queiroz, aos colaboradores da Cooperativa dos Garimpeiros de Pedro II (COOGP) e a Associação dos Joalheiros e Lapidários de Pedro II, em especial o Sr. Juscelino A. Sousa, e as diversas pessoas e instituições que apoiaram direta ou indiretamente nas ações da região objeto do APL.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, C. A. 2015. *O papel do APL da opala de Pedro II, Piauí, na Estruturação do turismo mineral do município*. São Paulo: Programa de Pós Graduação em Mudança Social e Participação Política da Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo - USP, 178p. (Dissertação de Mestrado).

CETEM. Projeto de Recuperação Ambiental da Mina do Boi Morto – opalas de Pedro II - Piauí. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2007.

FUNDAÇÃO CEPRO. Diagnóstico e diretrizes para o setor mineral do estado do Piauí. Teresina: Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais, 2005.

GOMES, E.R. & COSTA, M.L. 1994. Contribuição à gênese das opalas de Pedro II (Piauí). *Geochim. Brasil*. 8: 79-98.

GOMES, E.R. 1990. *Contribuição à mineralogia, geoquímica e gênese das opalas de Pedro II, Piauí*. Belém: Departamento de Geoquímica e Petrologia/ centro de Geociências, 94p. (Trabalho de Conclusão de Curso).

MATOS, M.F.A. Perfil Dos Pequenos Negócios da Opala no Município de Pedro II - Piauí. SEBRAE/PI, 23p.,2016.

OLIVEIRA, J.C. 1998. Recursos gemológicos dos estados do Piauí e Maranhão. CPRM. Informe de recursos minerais - Série Pedras Preciosas, n. 4. Teresina, 36p.

OLIVEIRA, J.C.; CARDOSO, C.E.T.; QUINHO, J.S.; AMORIM, H.J. 1979. *Projeto Opala em Pedro II*. Recife. DNPM/CPRM, 2 vols. (Relatório final).

ROSA, D.B. 1988. Les gisements d'opales nobles de la region de Pedro II, dans l'etat de Piauí. Nancy: L'Institut National Polytechnique de Lorraine/ ecole Nationale Superieure de Geologie de Nancy, 327p. (These de Docteur).

SILVA, E.E. 2007. *Caracterização Gemológica e Mineralógica de Opalas Preciosas de Pedro II*. Rio de Janeiro: Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 53p. (Dissertação de Mestrado).

SOUZA, V.C. 1985. Perfil analítico da opala. Brasília, *DNPM, Boletim* n. 58, 44p.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2017, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 320 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### Últimos números da Série Rochas e Minerais Industriais

**SRMI-22 - Contribuições para o avanço tecnológico da fase de polimento de rochas ornamentais.** Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, Phillipe Fernandes de Almeida, Thiago Mota Bolonini, Marília Lopes de Souza, Luan Lamon Machado, Saionara Coelho Peixoto, 2017.

**SRMI-21 - Caracterização tecnológica da rocha do prédio principal e argamassas do Parque Lage - Rio de Janeiro – RJ.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Rosana Elisa Coppedê da Silva, 2017.

**SRMI-20 - Areia de fraturamento hidráulico: usos, características, mercado e perspectivas.** Paulo Fernando Almeida Braga, Francisco Mariano R. de Souza Lima, José Mário Coelho e Caroline da Costa Gonçalves, 2017.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Geral: (21) 3865-7222  
Biblioteca: (21) 3865-7218  
E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)  
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



## Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

## O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 40 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.